

## 인간공학실험용 항공기 모의비행훈련장비 개발

### Aircraft Flight Simulator Development for Ergonomics Test

오 제 상\*

#### ABSTRACT

An aircraft simulator for ergonomics testing and pilot training was developed from the joint work Agency for Defense Development(ADD) and Daewoo Heavy Industry, LTD. in Korea at first time. It is basically to satisfy the requirements established by FAA-AC-120-40C (1995-JAN-26).

The aircraft simulator will be used mainly for ergonomics testing and pilot training for basic trainer on ADD and Korea Air Force in near future.

This simulator reproduces faithfully the cockpit and flight characteristics of the KTX-1 aircraft. It is one of the latest full flight simulators that have the CGI(computer graphic image) visual system and six degree of freedom motions system.

Development efforts focused on user-oriented design approach for ergonomics testing and flight training of pilots. Main characteristics of each subsystem are described such as cockpit, instruments, control loading system, motion system, visual system, aural system, instructor operation station and aircraft simulation softwear.

## 1. 서 론

최근에 전자기술, 특히 컴퓨터 기술의 현저한 진보로 인하여 항공기 시뮬레이터 기술이 발전할 수 있었고, 여러분야에 시뮬레이터가 적극적으로 활용되고 있는 추세이다.

이러한 발전에 힘입어 시뮬레이터는 광범위한 무기체계분야에서 응용되고 있으며, 항공기 무기체계 분야에서도 실제 항공기 개발 및 비행훈련 수행시에 발생하는 문제와 경제적인 이유에서 항공기 시뮬레이터에 관한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.[1]

항공기 시뮬레이터 분야에는 조종사 비행훈련용 시뮬레이터와 항공기 연구개발용 비행시뮬레이터가 있다. 특히 조종사 비행 훈련용 시뮬레이터는 훈련공역의 제한, 소음문제, 연료비의 증대, 비행안전문제, 항공기 감가상각, 정비유지비, 항공기/조종사 손실 등의 이유에서 선진국의 육·해·공군은 이미 항공기 조종사의 비행교육 훈련장비인 시뮬레이터를 활용하고 있다. 항공기 시뮬레이터를 활용한 비행훈련 대체효과율은 22개 항공기 기종의 시뮬레이터 운영분석결과 약 48%로서, 실제 비행시간을 감소하고 있는 추세이고, 운영비는 실제 항공기 운영비의 약 8% 만이 소요되므로, 향후 세계적으로 시뮬레이터 수요가 급격히 증가할 것으로 예상된다.[2]

이러한 추세에서 연구소는 각 항공기 개발종류 마다 조종사 인간공학용 및 비행훈련용 시뮬레이터를 필수적인 실험 및 훈련 장비로 개발하고 있으며, 일선 항공기 개발 부서에서는 실제 항공기 개발전에 대단히 많이 인간공학적인 항공기 조종실 실험에 활용하고 있는 실정이다.[1]

국방과학연구소는 항공기 조종실 인간공학

적 실험용으로 시뮬레이터 개발을 성공하였을 뿐만아니라 장차 국내 조종사 비행훈련용 시뮬레이터 개발소요에 대비하여 선도적인 개발 기술을 축적하고 있다.

본 연구는 조종사 인간공학적인 실험 및 비행훈련용 항공기 시뮬레이터를 개발함에 있어서 개발의 중요사항, 구성품과 기능을 소개하며, 또한 시뮬레이터의 비행성능, 비행모의 소프트웨어의 개발 및 시험평가를 소개한다.

## 2. 개발의 중요 고려사항

본 시뮬레이터는 공군의 기본훈련기를 개발하기 위하여 활용되며, 실제 항공기의 개발중에 실험용으로 사용하여 실제 항공기 조종실 최적화 내용을 실험가능하도록 개발한 주요 고려사항은 다음과 같다.

### 2.1. 운용자 요구사항 최대반영

항공기 개발에서 운용자 요구인 조종사 요구를 충분히 반영하여 조종실의 계기 및 스위치 등의 운용시에 편리하게 운용할 수 있게 한다.

### 2.2. 인간공학 실험용으로서 시뮬레이터 활용

R&D 시뮬레이터를 활용하여 항공기의 교육훈련체계의 관점에서 학생조종사가 목표의 조종 기량 수준에 효과적이고 효율적으로 도달하게끔 조종실 설계 및 배열하는 것이 항공기 조종실 인간공학적인 실험용 시뮬레이터로 활용할 목적이 있다.

### 2.3. 체계비용 최적배분

실험 및 훈련용 체계의 제한된 비용으로 최

대의 효과를 높이기 위한 시뮬레이터 체계기능을 배분하고 그 결과로서 실제성을 높이기 위하여 6 자유도의 유압 운동판, 조종력제어 감지용의 유압 조종간 및 넓은 시야 모의 영상장치를 채용한다.

#### 2.4. 정밀도 높은 비행모의 소프트웨어 구축

항공기 비행특성, 비행성능의 정밀도를 높이기 위하여 항공기 개발시의 축적된 자료를 이용하여 시험비행 조종사가 탑승하여 자세하게 시뮬레이터를 시험 평가한다.

#### 2.5. 실험 및 훈련이 용이한 통제기능 부여

운용자가 편리하게 시뮬레이터 체계를 운용하기 위하여 다음 기능을 채용한다.

- 메뉴 방식의 자동조종 데모비행 기능을 부여하고,
- 브리핑실에 지형화면을 제공하여 지형관측 기능을 부여하고,
- 운용자 터치 스크린 방식의 집중통제 장치 기능을 부여한다.

#### 2.6. 개발자/운용자가 참고 가능한 기술자료 구축

항공기 조종사 인간공학 실험 및 훈련용 시뮬레이터를 개발하면서 가장 중요하게 취급한 것은 향후 조종사 비행훈련용 시뮬레이터 체계개발자/체계운용자들에게 축적된 기술을 전수하여 줄 수 있도록 관련 부체계별 기술적인 내용을 기록 문서로 남기는데 역점을 두고 본 시뮬레이터 사업을 추진하였다.

실제 시제품 보다 개발기술내용을 기록문서로 정리하는데 역점을 두었고, 항공기 시뮬레이터 체계개발 시제품이 1%라면 체계개발 문서에 99%의 노력의 비중을 두고 사업을 추진

한 결과 정리된 문서의 종류는 체계규격서, 체제설계문서, 체제상세설계문서, 체제상호연결설계문서, 체계시험평가문서, 체계소프트웨어 프로그래밍 교범, 체계운용교범, 체계정비교범, 운용자 시설요구사항, 부체계/부품 목록 등의 기술내용들이 기록 보존되어 있다.

### 3. 체계 기능

본 시뮬레이터의 실험 및 훈련 요구는 다음과 같다.

- 조종 방법 훈련실험 : 시계비행, 곡예비행, 계기비행, 요구사항 야간비행, 편대비행, 항법비행 등이 있다.
- 비상처리 방법 훈련실험 : 각종 부체계별 비정상 절차실험 등이 있다.

본 시뮬레이터 체계의 기능은 실험기능과 실험통제기능을 다음과 같이 갖는다.

#### 3.1. 실험 및 훈련기능

실험 및 훈련기능은 항공기 모의비행 기능으로서 아래 요소로 구성된다.

##### 3.1.1. 조종실

비상탈출좌석, 유압조종장치, 계기, 스위치, 레버(lever) 등이 있다.

##### 3.1.2. 비행특성 및 성능

공력특성, 엔진특성, 프로펠러(propeller) 특성, 조종반력 특성, 중량, 중심, 관성모멘트 특성 등이 있다.

##### 3.1.3. 부체계

조종계통, 엔진계통, 연료계통, 전기계통, 착

륙장치계통, 계기계통, 냉난방계통, 방빙계통, 항법/통신계통, 경보계통 등이 있다.

### 3.1.4. 외부환경

기상조건(바람, 시정, 구름, 천둥, 온도, 기압, 착빙, 난기류), 활주로 노면조건, 항법보조시설 조건(NDB, TACAN 등)등이 있다.

### 3.1.5. 각 계통 고장발생 기능

약 50 항목의 각 계통별 비상절차 훈련을 위한 고장발생 부여가 가능하다.

### 3.1.6. 시계영상

사천기지, 훈련구역, 항법구역, 활주로, 유도로, 전기장, 높은 산, 바다, 강 등의 지형, 건물, 도로 등의 지물, 수형선, 구름, 안개, 프로펠러, 좌우주익, 다른 비행기 등이 있다.

### 3.1.7. 비행운동

6축 운동판의 가속도, 가속도에 기인한 요동, 진동(엔진, 지상활주, 후랩작동) 접지시에 충격등이 있다.

### 3.1.8. 소 음

엔진, 프로펠러, 공력, 경보, 후랩, 착륙장치, 부스타펄프 등의 작동 소음등이 있다.

## 3.2. 실험 및 훈련 통제기능

실험 및 훈련통제기능은 다음과 같은 요소로 구성된다.

### 3.2.1. 실험/훈련요령설정

교관, 학생의 정보입력, 훈련조건 입력(초기조건, 환경조건, 모의고장조건), 자동 데모 설정등이 있다.

### 3.2.2. 실험/훈련실시제어

실험/훈련제어(실험/훈련개시, 중단, 재개시 및 종료, 실험/훈련조건 변경, 실험/훈련상황재생) 실험/훈련감시제어, 긴급중지 및 중단 등이 있다.

## 4. 구성 및 특징

본 시뮬레이터의 구성도는 그림 1에 표현하고 그 주요 구성품의 상세한 설명은 아래와 같다.

### 4.1. 컴퓨터

주 컴퓨터 VME CPU(4개):MC68040, 25MHz, 16MB DRAM 이며, 공유메모리: 256KB, 초당반복수행회수: 30, 사용 OS: V×Works(실시간처리 OS), 자기진단체계를 구성하고 있다.

본 시뮬레이터는 다음 기능의 프로그램을 작성하여 저장되어 있다.

체계전체 실행관리, 실험 및 통제, 비행조정 입력, 항공기 모의 소프트웨어 처리, 실험 및 통제 감시, 운동판, 계기 및 통신, 조종반력 등의 출력이 있으며, 이러한 프로그램은 30Hz로 실행된다. 시간관리하는 체계 실행관리부분이 있고, 이를 처리하는 실시간 처리 V×Works가 있다.

### 4.2. 교관실/실험감사

교관실은 실험통제와 실험감시로 구성되며, 실험/훈련 통제 및 감시는 실험/훈련실시에 실험/훈련시나리오, 초기조건등을 설정하는 실험/훈련 통제탁자, 한사람의 통제인으로 피실험자의 실험/훈련을 통제 및 감시할 수 있는

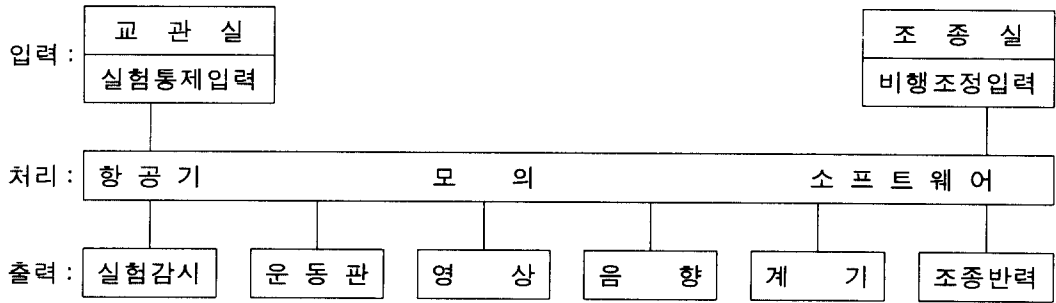


그림 1. 항공기조종사 인간공학 실험용 시뮬레이터 체계구성도

집중통제장치로 구성되어 있다.

실험/훈련통제실에는 실험/훈련통제화면에 터치 스크린이 있고, 비행궤적 등의 실험/훈련 상황의 감시화면으로 구성되어 있다. 메뉴 선택식으로 되어 있고 그 화면에서 바로 입력이 가능하다. 교관실에서 피실험자의 실험/훈련을 효과적으로 하기 위하여 실험/훈련시에 테마 비행, 중요한 시점 비행 일시정지, 자동 데모 비행선택 등이 가능하다.

실험/훈련 통제 및 감시를 위한 교관실에는 통제장치(임무설정 실험/훈련환경설정, 계통고장설정, 비행상황통제, 시뮬레이터 체계통제, Touch Screen 방식으로 통제함), 비행계기 모니터(계기/스위치 지시 및 확대/축소 기능, Touch Screen 방식으로 통제함), 영상 모니터(SG VGXT, 비행 전방에 화상을 전시함), 실험 기록/재생 장치로 구성된다.

#### 4.3. 조종실/계기/조종반력

조종실은 비행조종 입력에서 항공기 모의 소프트웨어 처리를 통하여 계기 혹은 조종반력의 출력으로 조종사가 보거나 느낄 수 있다.

조종실은 항공기 조종실의 내부를 충실히 모의한다. 조종간, 라다(rudder) 페달(pedal), 스위치, 레바 등은 실제항공기 부품을 사용하

고, 계기등 일부는 모의부품을 사용하며, 조종반력장치는 조종사가 조타감각을 감지할 수 있도록 유압식 조타반력장치로 개발한다.

조종실의 특징은 실제항공기와 동일한 내부 배열 및 조절가능한 탈출좌석으로 구성되고, 계기는 통신항법장치, 실제 및 모의 계기 30종, 각종 스위치 및 회로 차단기들로 구성되며 조종반력은 유압식 조종력 제어장치로 구성된다.

#### 4.4. 운동판

운동판은 실제 비행상태를 체감할 수 있도록 6축 유압방식이다. 항공기 운동감각을 유한한 운동범위로 모의가능 하지만 큰 G와 연속적인 G 발생은 한계가 있다. 조종사의 감각적인 운동범위가 선형이 아니므로 미소범위에 대한 운동감각 특성을 이용하며, 위시아웃 방식으로 모의한다. 운동판의 특징은 6 자유도 Synergistic Type, MIL-1558 참조, 운동상판의 크기 4m×4.8m, 유압실린더 Stroke 1m, Payload 4 ton, 자체진단에 의한 안전장치를 가지고 있다.

각축 단독운동에서 유압의 동적특성은 다음 표 4.1과 같다.

표 1. 운동판의 각축별 특성

#	축 방 향	변 위	속 도	가 속 도
1	VERTICAL	± 550 mm	± 600 mm/sec	± 0.8 G
2	LATERAL	± 550 mm	± 600 mm/sec	± 0.6 G
3	LONGITUDINAL	± 550 mm	± 600 mm/sec	± 0.6 G
4	Pitch	± 25°	± 20° /sec	± 60° /sec <sup>2</sup>
5	Roll	± 25°	± 20° /sec	± 60° /sec <sup>2</sup>
6	Yaw	± 25°	± 20° /sec	± 60° /sec <sup>2</sup>

#### 4.5. 영 상

영상은 모의시계 영상장치로서 조종실 외부로 보이는 시계영상을 제공하는 시계 발생장치와 시계표시 장치들로 구성된다. 시계발생장치는 컴퓨터 영상발생 방식, 텍스트 성능이 보다 고화질을 실현한다.

시계표시장치는 항공기 시뮬레이터에 일반화 되어 있다. 화상의 원근감 제공이 가능하며 시야는 수평 150도와 수직 40도 범위를 제공한다. 지형지물의 화상 데이터베이스는 컴퓨터에 저장하고, 데이터 추가로 지형영역 건물등의 모델을 추가 가능하다.

본 시뮬레이터는 브리핑실에 프로젝터와 스크린을 설치하여 화상을 통한 지형관측을 할 수 있다.

영상장치의 특징은 SGI Iris Crimson VGXTs 3개의 컴퓨터 체계와 시야 150도×40도의 구형 스크린에 3채널 프로젝션 체계이며, 전송지연시간이 66.7 ms, Update률이 30Hz (Refresh를 60Hz), 600 polygon/channel, 날개 및 시간효과로 주간, 야간, 새벽, 황혼, 안개, 구름이 있고, Gameing area는 사천, 대구, 광주, 김해 비행장을 포함하는 남부지역이다.

#### 4.6. 음향장치

실제 항공기와 유사한 소리로 실험/훈련효과를 도모하고자 실시한 항공기 소음 및 환경소음 재현을 위한 3차원 공간에 적용한 Device Mode와 음향 컴퓨터로 SGI Indy (24Bit)를 사용, 음향 sampler로서 16Bit 음향 Synthesizer, 16 stereo 지원, 600 W Amplifier 4×100 W Speaker로 구성되어 있다. 그리고 항공기 및 환경소리의 종류는 엔진소리, 공력소리, 활주로 이착륙 바퀴 구르는 소리, 착륙장치 up/down 소리, 통신소리, 주의 및 경보 소리 등이 있다.

#### 4.7. 항공기 모의 소프트웨어

항공기 모의 소프트웨어는 항공기의 비행성능 및 성능을 구현하기 위하여 공력특성 및 성능, 엔진성능, 프로펠러 성능, 조타 감각 특성, 지상반력 특성, 중량/중심/관성 모우먼트 모델이 있으며, 모의 조종실에는 계기/스위치, 조타반력 특성 모델이 있고, 외부환경 모델, 자동진단시험 프로그램, 교관 통제 모델 등이 개발되어 있다.

프로펠러 항공기의 특성과 성능은 제트 항공기의 특성과 성능을 비교하면, 공력적인 프

로펠러 후류의 영향이 대단히 크며, 속도와 추력의 차이가 대단히 큰 것이 특징이다.(3) 또한 착륙장치의 위치, 플랩(flap) 위치, 받음각, 횡형각(좌우비대칭), 엘리베이터(elevator), 에어론(aileron), 라다(rudder)의 각 조타각에 따라서 변화하고, 이같은 많은 페라메타를 이용하여 공력 표(table)를 작성하였다.

본 시뮬레이터의 공력 표는 기본적인 풍동 시험 자료를 이용하여 평가단계에서는 특히 추력, 받음각 크기조건, 충분한 모의정밀도를 확보하여야 하며, 부분적으로는 대폭 수정하였다. 이것은 풍동시험모형과 실제 항공기의 큰 차이의 레이놀즈 수의 영향이라 생각된다. 엔진 성능은 제작성능을 이용하지만 항공기 비행 시험결과와 비교하여 변경하였다. 엔진 동특성은 N1 회전수(구동축 터빈 회전수)와 N2 회전수(프로펠러 축에 접속된 터빈의 회전수)를 실제 항공기 시험 자료와 비교하여 기본적인 2차계로 모의한 결과 편대비행에 가능한 응답성을 가지도록 하였다.

한편으로 기본적인 6 자유도의 운동계산 프

로그램은 별도계산기를 이용하여 개발한 것은 개발기간 단축 및 완성도를 높이기 위한 계획이었고, 항공기 모의 소프트웨어의 특징은 세부계통별 모듈화된 구조, 30 ms 내의 최적화된 수행시간, 데이터 변경에 의한 타항공기에 적용이 용이하게끔 개발되었다.

항공기 모의 소프트웨어의 프로그램 모델 및 시스템 구성도는 그림 2과 같다.

### 5. 시험 및 평가

#### 5.1. 시험

항공기 시뮬레이터 시험에서 기본적인 민간 항공기 시뮬레이터의 개발시에 이용규격은 FAR level C(허용오차최소수준)가 충족되어야 하고, 군용기 시뮬레이터는 규격 MIL의 허용오차를 충족하는 것이 목표이며, 일부 시험규격은 연구소내의 규격[4]을 참고하였다.

본 시뮬레이터 시험평가의 최종적인 판단은 조종사가 직접 시험비행을 수행할때 필연적으

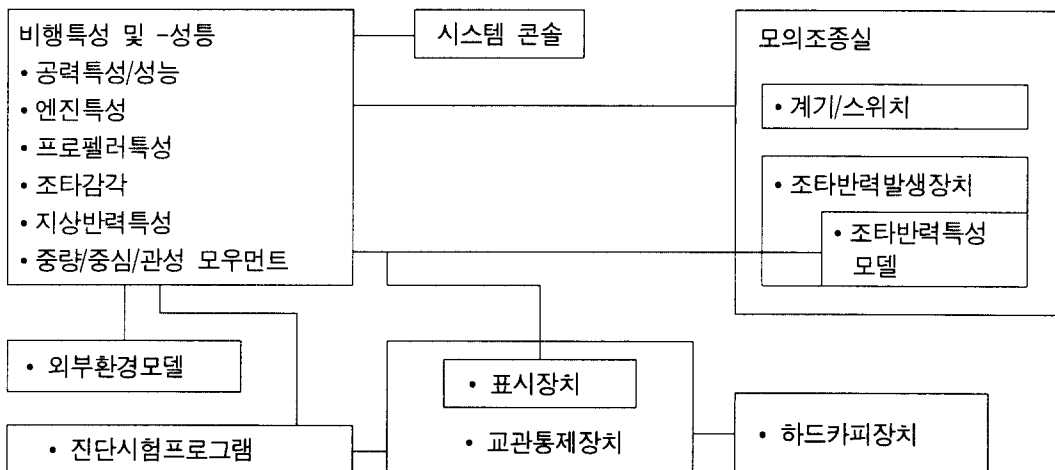


그림 2. 항공기 모의 소프트웨어의 프로그램 모델 및 시스템 구성도

로 상기의 허용오차를 충족시켜야 하므로 조종사의 감각을 충족하도록 시험하였다. 결과적으로 비행시험 자료획득은 비행조건, 시험항목에 없는 비행특성이 요구될 때는 조종사 조언에 의한 자료로 대략적인 조정작업이 수행된 이후에 실제 시뮬레이터의 탑승이 요구되며, 자세한 조종은 조종사가 시뮬레이터를 탑승하여 시행착오적으로 반복실험을 통한 수정보완하였다. 본 시뮬레이터의 특성은 실속 직전 및 직후의 특성 및 실속회복 등의 모의훈련은 조종사에게 대단히 중요하므로 많은 시행착오적인 수정보완 작업의 시간을 소비한 후에 정밀도가 실현가능하였다.

## 5.2. 평 가

본 시뮬레이터 비특성 평가는 자동시험프로그램에 의한 정량적인 평가방법과 조종사에 의한 정성적인 평가방법으로 2종류로 구분하였다. 정량적 평가는 체계기술의 일환으로 실시되었고, 각 시험결과가 각 항목의 허용오차 내에 포함되는가를 확인하였다. 정성적인 평가는 연구소 조종사와 군 시험 조종사의 탑승과 프로그램의 수정보완의 반복으로 최종적인 합격평가를 수행하였다.[5] 이러한 평가는 트림(trim) 특성을 비롯하여 수평, 상승, 강하, 비행시에 필요한 톨큐, 여러가지 비행조건에 따른 조타력, 엔진파워 효과, 지상활주시 브레이크 특성, 공중기동 비행시의 특성, 계기비행등 다양한 데이터 조정으로 서로 절충하고, 비행조건에 필요한 파라미터를 해석한 결과 전체적으로 만족한 특성인가를 확인하였다. 또한 실제 항공기의 체감과 시뮬레이터의 체감이 물리적인 차이(시뮬레이터의 연속적인 가속도를 모의할 수 없고, 운동판의 움직임이 시간누적에 따른 오차발생 등)가 있으므로, 시뮬레이

터 경우 기체특성의 조정이 요구되었다.

## 6. 결 론

본 시뮬레이터는 현재 가동운용하고 있으며 실제 실험/훈련은 높은 가동율과 지속성을 요구하므로, 이러한 운용자 지향적인 체계를 개발하고자 노력하였다. 항공기 조종실 인간공학적 실험과 조종사 비행훈련용을 위한 본 항공기 시뮬레이터 개발은 약 4년 간의 개발기간 동안에 향후 개발 및 훈련 소요에 대비하여 선도적인 시뮬레이터 개발기술 준비에 역점을 두고 개발하였으며, 항공기 시뮬레이터 개발의 요소기술 분야에 많은 기술적인 노하우를 습득하였다고 생각한다. 이러한 축적된 기술을 활용하여 향후 타항공기 조종실 인간공학적 실험과 조종사 비행훈련용을 위한 항공기 시뮬레이터 개발사업이 확실한 국내 독자개발이 될 수 있도록 기대한다.

### \* Acknowledgement

본 시뮬레이터의 개발은 국방부, 공군, 국과연, 대우중공업의 지원과 협력으로 성공할 수가 있었다. 특히 본 항공기 시뮬레이터 개발을 위하여 공군의 T-59 시뮬레이터 절충교역사업으로 관련기술전수를 제공하여 준것에 감사드리며, 또한 개발사업을 승인해준 국방부와 국방과학연구소의 관련된 모든 분들에게 진심으로 감사드린다.

## 참 고 문 헌

[1] 오제상, 항공기 시뮬레이터에 관한 연구,



- 국과연 ASDR-401-91099, 1991. 10
- [2] 오제상 외 3명, 항공기 시뮬레이터 개발 현황 및 구성기술 발전전망, 국과연 ASDR-501-947824, 1994. 10
- [3] Rolfe, J.M. and Staples, K.J. Flight Simulation, Cambridge University Press, 1986
- [4] 오제상 외 3명, 항공기 시뮬레이터 기술 시험방안 연구(2), 국과연 ASDR-501-940783, 1994. 10
- [5] 오제상 외 4명, 항공기 시뮬레이터 시험평가, 국과연 ASDR-301-960838, 1996. 8